



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 12 761 A 1**

⑤① Int. Cl.⁸:
H 01 B 17/26
H 01 F 36/00

②① Akt nzeichen: P 44 12 761.8
②② Anmeldetag: 13. 4. 94
④③ Offenlegungstag: 26. 10. 95

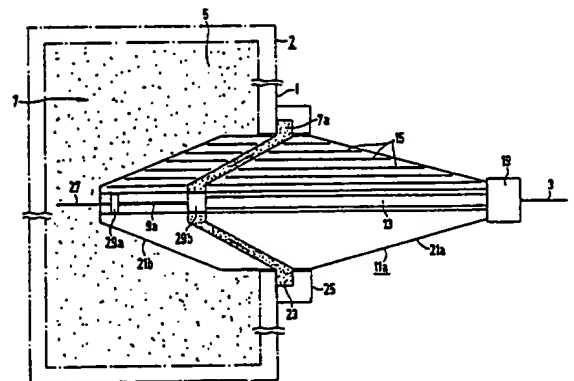
⑦① Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:
Müller, Walter, Dr.-Ing., 82449 Uffing, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Leiterdurchführung für ein Wechselstromgerät mit Supraleitung

⑤⑦ Um bei einer Leiterdurchführung (11, 11a) für ein Wechselstromgerät mit Supraleitung für hohe Spannungen eine sichere thermische und elektrische Isolation zu erzielen, ist vorgesehen, daß ein als Isolierkörper ausgebildetes Durchführungsteil (11) einen Innenleiter aufweist, das mit coaxial angeordneten elektrisch leitenden Einlagen (15) versehen ist. Die Einlagen (15) weisen dabei einen nur geringen Wärmeleitwert auf. Der Innenleiter (13) weist endseitige Verbindungsmittel (19, 29b) zum Anschluß eines elektrischen Leiters (3) zur elektrischen Energiezu- oder -abfuhr bzw. zum Anschluß eines Supraleiters (9, 9a) auf. Die Leiterdurchführung (11, 11a) kann auch zweistufig ausgeführt sein.



DE 44 12 761 A 1

Die Erfindung betrifft eine Leiterdurchführung für ein Wechselstromgerät mit Supraleitung, insbesondere ein Hochspannungstransformator in supraleitender Ausführung.

Aus der Electrical Review vom 12.03.1971, Seiten 335 bis 338 sind elektrische Wechselstromgeräte mit Supraleitung bekannt. Dabei ist der Aktivteil des Wechselstromgerätes, beispielsweise der Aktivteil eines Transformators, in einem Kyrostatgefäß angeordnet. Innerhalb des Kyrostatgefäßes wird mittels eines Kühlmediums für die erforderliche Tieftemperatur gesorgt, so daß mit einem entsprechenden Leiter eine Supraleitung erzeugt werden kann. Bei der praktischen Realisierung solcher Geräte besteht das Problem, die Leiter für die elektrische Energiezu- und -abfuhr elektrisch und thermisch isoliert von außen durch das Kyrostatgefäß an das Aktivteil heranzuführen.

Bei herkömmlichen Durchführungen, wie beispielsweise aus der DD 2 82 102 A5 bekannt, ist lediglich eine elektrische Isolierung des Leiters gegenüber einem Gehäuse erforderlich. Aus der FR 2 647 590 ist eine Leiterdurchführung für supraleitende Gleichstrommagnetspulen mit kleinen Betriebsspannungen bekannt. Bei kleinen Betriebsspannungen kann jedoch der elektrische Isolieraufwand als vernachlässigbar betrachtet werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Leiterdurchführung für ein Wechselstromgerät mit Supraleitung für hohe Spannungen bereitzustellen, bei dem eine sichere thermische als auch elektrische Isolation gegeben ist.

Die Lösung der Aufgabe gelingt erfindungsgemäß mit einer Leiterdurchführung für das Gehäuse eines supraleitenden Wechselstromgerätes mit hoher Betriebsspannung, insbesondere für Mittel- oder Hochspannung, mit

- einem Innenleiter, der von einem als thermischer und elektrischer Isolierkörper ausgebildeten ersten Durchführungsteil umgeben ist, in welchem coaxial um den Innenleiter elektrisch leitende Einlagen mit geringer Wärmeleitfähigkeit angeordnet sind,
- endseitigen Verbindungsmitteln zum Anschluß eines elektrischen Leiters zur elektrischen Energiezu- oder -abfuhr beziehungsweise zum Anschluß eines Supraleiters
- und Haltemitteln zur Befestigung an der Gehäusewand.

Auf diese Weise ist ein sicherer Betrieb des Wechselstromgerätes in bezug auf die Spannungsfestigkeit der Leiterdurchführung und auf die Temperaturverluste gegeben. Die Leiterdurchführung läßt sich dabei in ihren Baumaßen an das Gehäuse des Wechselstromgerätes problemlos anpassen, wobei dann entsprechend die Form und die Anzahl der leitenden Einlagen angepaßt wird. Auf diese Weise sind auch schwierige Durchführungen am Gehäuse elektrisch als auch thermisch weitestgehend beherrschbar.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist an dem ersten Durchführungsteil axial ein passendes zweites Durchführungsteil angeordnet, wobei zwischen den beiden Durchführungsteilen ein gekühlter Zwischenraum liegt. Auf diese Weise ist eine zweistufige Ausbildung der Leiterdurchführung gegeben. Die Einlagen der beiden Durchführungsteile sind dann aufeinander abge-

stimmt, so daß eine vorteilhafte Potentialsteuerung für den Zwischenraum möglich ist. Diese Leiterdurchführung eignet sich insbesondere für Wechselstromgeräte mit besonders niedriger Kühlmitteltemperatur, bei denen die Temperaturverluste entlang der Leiterdurchführung auf einen besonders kleinen Wert gehalten werden müssen. Gegebenenfalls kann der Zwischenraum sich auch um den Innenleiter herum erstrecken, so daß dieser noch eine zusätzlich Kühlung erfährt. Durch eine günstige Auslegung dieser Zwischenkühlung kann gegebenenfalls der Temperaturverlust für den Innenraum des Gehäuses entlang der Leiterdurchführung geringer sein als durch die Gehäusewand an sich. Die Temperaturverluste werden dabei durch den Kühlkreislauf für den Zwischenraum bereitgestellt oder gedeckt. Der Kühlkreislauf für den Innenraum wird dadurch nicht belastet. Da der Kühlkreislauf für den Zwischenraum auf einer höheren Temperatur als der des Innenraumes arbeitet, kann dieser auch einfacher und kostengünstiger ausgeführt werden. Das Verhältnis des spezifischen Energieaufwands zwischen Hauptkühlkreis zum Zwischenkühlkreis beträgt etwa 500 W/W zu 10 W/W.

Bevorzugt weisen die Einlagen einen gegenüber Aluminium geringeren, insbesondere einen minimalen, Wärmeleitwert auf und können als Folie aus einer unmagnetischen Stahllegierung, z. B. Hasteloy, gefertigt sein. Dadurch ist ein besonders geringer Temperaturverlust entlang der Leiterdurchführung gegeben. Die Einlagen an sich stellen Wärme- oder Kältebrücken innerhalb des Isolierkörpers dar. Durch Verwendung des speziellen Werkstoffes sind die dort entstehenden Verluste auf ein geringes Maß begrenzt. Die Einlagen können dabei in beiden Durchführungsteilen angeordnet sein. Dadurch ist auch eine gleichmäßige Potentialverteilung entlang der gesamten Durchführung, insbesondere auch im Bereich des Zwischenraumes, möglich. Mit Vorteil kann der Innenleiter zumindest im ersten Durchführungsteil ein im Verhältnis zum Leiter oder Supraleiter großen Außendurchmesser aufweisen. Auf diese Weise ist eine bessere Potentialsteuerung möglich.

Die Leiterdurchführung findet eine bevorzugte Verwendung bei einem supraleitenden Leistungstransformator, insbesondere für Mittel- oder Hochspannung. Die Anordnung von Leistungstransformator mit der erfindungsgemäßen Leiterdurchführung weist ein besonders sicheres Betriebsverhalten und eine günstige Baugröße auf.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den übrigen Ansprüchen angegeben.

Die Erfindung und weitere Vorteile werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Leiterdurchführung und

Fig. 2 eine zweite Leiterdurchführung.

Fig. 1 zeigt einen Teilschnitt durch eine Gehäusewand 1 eines nicht näher gezeigten elektrischen Wechselstromgerätes mit hoher Betriebsspannung, beispielsweise Mittel- oder Hochspannung. Der Aktivteil des Wechselstromgerätes kann zum Beispiel eine Spule, ein Kondensator oder sonstige elektrische Leiteranordnungen — auch Halbleiter — umfassen. Bevorzugt ist das Wechselstromgerät als Hochspannungstransformator für die Energieversorgung ausgebildet und supraleitend ausgeführt. Das heißt, daß zumindest ein Teil seiner elektrischen Aktivteile in einem Kyrostatgefäß 2 derart gekühlt sind, daß deren elektrische Leiter supraleitend sind. Dazu wird die elektrische Energie von außen über einen üblichen elektrischen Leiter 3 durch die Gehäuse-

wand 1 in den gekühlten Innenraum 5 des Kryostatgefäßes 2 geführt. Innerhalb des Kryostatgefäßes 2 befindet sich ein Kühlmedium 7, z. B. LN_2 . Die Kühlung des Innenraumes 5 und der darin befindlichen Aktivteile erfolgt dabei mittels des Kühlmediums 7. Das Kühlmedium 7 wird mittels einer nicht näher gezeigten Kühleinrichtung auf einer vorgegebenen Tieftemperatur gehalten. Die Form des Kryostatgefäßes ist üblicherweise an die Form des Wechselstromgerätes angepaßt und kann z. B. eine zylindrische, quaderförmige oder eine sonstige geeignete Ausbildung haben.

Zur Erzeugung der Supraleitung wird ein spezieller elektrischer Leiter, vorliegend ein Hochtemperatur-Supraleiter (HTSL) 9 verwendet. Dieser wird bei Temperaturen zwischen 10 und 100 K, insbesondere bei 77 K eingesetzt. Es können jedoch auch metallische Supraleiter (MSL) verwendet werden, die einen Einsatz unterhalb von 20 K, insbesondere bei ca. 4 K, erlauben.

Bei einer Durchführung des elektrischen Leiters 3 durch die Gehäusewand 1 ist einerseits eine thermische Isolierung und andererseits eine elektrische Isolierung erforderlich. Dies gilt insbesondere, wenn der elektrische Leiter 3 mit Hochspannung beaufschlagt ist. Vorliegend wird eine Leiterdurchführung 11 verwendet, deren Innenleiter 13 nach Art einer Stromdurchführung ausgebildet ist. Sein Durchmesser ist dabei im Verhältnis zum Durchmesser des elektrischen Leiters 3 relativ groß, so daß zwischen der Gehäusewand 1 und dem Innenleiter 13 nur eine geringe Feldstärkebelastung auftritt. Die Leiterdurchführung 11 weist im Längsschnitt beispielhaft eine keulenartige Form auf.

Die Leiterdurchführung 11 ist als Isolierkörper ausgebildet und umfaßt in an sich bekannter Art und Weise koaxial um den Innenleiter 13 angeordnete Kondensatoreinlagen 15. Diese sind zur Beherrschung des elektrischen Feldes zwischen dem Innenleiter 13 und der Gehäusewand 1 erforderlich. Bei 400 KV Betriebsspannung sind beispielsweise ca. 100 Einlagen erforderlich. Zur Beherrschung der thermischen Isolierfähigkeit dürfen die Kondensatoreinlagen 15 jedoch nicht wie üblich aus Aluminiumfolie gewickelt sein, da Aluminium ein hervorragender Wärmeleiter ist. Die Kondensatoreinlagen 15 müssen bei der vorliegenden Anwendung schlechte Wärmeleiter sein. Als Materialien eignen sich daher beispielsweise Folien aus einer unmagnetischen Stahllegierung, z. B. Hastelloy, die auch bei tiefen Temperaturen eine wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als Aluminium. Es eignen sich jedoch auch nichtmetallische Folien, z. B. Kohlefolie, Kunststoffolie oder auch mit einem elektrischen Leiter kaschierte Folien. Die Leiterdurchführung 11 ist ansonsten herkömmlich aus epoxdharzgetränkter Isolierfolie gewickelt. Gegebenenfalls kann aber auch hier eine Verwendung von Materialien stattfinden, die eine Verringerung der Wärmeleitfähigkeit der Leiterdurchführung 11 zur Folge hat. Denkbar sind Materialien wie Kunststoff oder Keramik.

Die Verbindung des HTSL 9 mit dem Innenleiter 13 kann in einen Bereich innerhalb der Leiterdurchführung 11 verlegt sein. Die Verbindung des Innenleiters 13 mit dem elektrischen Leiter 3 erfolgt wie nach dem Stand der Technik üblich. In der Fig. 1 ist hierzu rein schematisch eine Verbindungsschelle 19 gezeigt. Die einstufige Ausführung nach Fig. 1 ist insbesondere für Geräte mit HTSL auf einer Kühltemperatur von ca. 77 K und eventuell für Geräte mit MSL bei 4 K geeignet. Ihr Nennstrom sollte unterhalb 100 A liegen.

Fig. 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer

zweistufigen Leiterdurchführung 11a. Diese ist im wesentlichen für ein Kryostatgefäß 2 mit besonders niedriger Kühltemperatur, insbesondere unter 10 K, geeignet. Die Leiterdurchführung 11a umfaßt dazu ein erstes und ein zweites Durchführungsteil 21a und 21b. Das Durchführungsteil 21a entspricht dabei im wesentlichen der bereits oben beschriebenen Leiterdurchführung 11. Es ist dabei im wesentlichen außerhalb der Gehäusewand 1 angeordnet und ragt zum Teil in den Innenraum 5 hinein. Es dient zum Anschluß des elektrischen Leiters 3. Im Innenraum des Kryostatgefäßes 2 ist das zweite Durchführungsteil 21b angeordnet. Die beiden Durchführungsteile 21a und 21b sind an ihren einander zugewandten Flächen in der Formgebung angepaßt und bilden dabei gleichzeitig einen Zwischenraum 23. Die beiden Durchführungsteile 21b, 21a sind bevorzugt, wie die oben bereits beschriebene Durchführung 11, als Kondensatordurchführungen mit Einlagen 15 aufgebaut.

Diese Ausführung kann auch so beschrieben werden, daß durch Anordnung des Zwischenraumes bei einer einfachen Anordnung eine zweistufige Ausführung gebildet wird.

Der zwischen den beiden Durchführungsteilen 21a und 21b gebildete Zwischenraum 23 dient zur Aufnahme eines Kühlmediums, wodurch eine zusätzliche Kühlung der gesamten Leiterdurchführung 11a erfolgt. Der Wärmeübergang von Außen nach Innen ist dadurch zweistufig. Auf diese Weise ist nur noch ein geringer Wärmeübergang über die elektrischen Leiter 27, 13, 9a innerhalb der Durchführung 11a möglich. Das Kühlmedium 7a für den Zwischenraum 23 wird ebenfalls über eine nicht näher gezeigte Kühleinrichtung gekühlt und aufbereitet. Dadurch wird auch der Wärmeverlust des Kühlmediums 7 im Innenraum 5 klein gehalten und dessen Kühleinrichtung entlastet. Die Zwischenraumkühleinrichtung ist gegenüber der Hauptkühleinrichtung klein ausgeführt. Das Kühlmedium 7a für den Zwischenraum 23 kann dabei ein anderes als das innerhalb des Kryostatgefäßes 2 sein. Für tiefe Temperaturen wird beispielsweise LH_2 bei ca. 4 K verwendet. Da ein kontinuierlicher Wärmeübergang von dem Innenraum 5 des Kryostatgefäßes 2 über die Durchführung 11a bis zum elektrischen Leiter 3 stattfindet, könnte beispielsweise für den Zwischenraum 23 als Kühlmittel 7a LN_2 bei über 50 K wie bei der Hochtemperatursupraleitung verwendet werden.

Zur Befestigung der Durchführung 11a und zur Bildung von Anschlußmöglichkeiten für den Zwischenraum 23 ist ein geeigneter Flansch 25 an der Gehäusewand 1 vorgesehen. Die Befestigung erfolgt dabei in bekannter Art und Weise, z. B. durch Schweißen oder mittels gas- und flüssigkeitsdichte Verschraubungen.

Entsprechend den wärmetechnischen Bedingungen innerhalb der Durchführung 11a, können auch entsprechende Leiter verwendet werden. Ausgehend davon, daß das Wechselstromgerät innerhalb einen MSL 27 aufweist und außerhalb an einen elektrischen Leiter 3 angeschlossen ist, kommen im weiteren der bereits oben beschriebene Innenleiter 13 für das Durchführungsteil 21a und für das Durchführungsteil 21b ein HTSL 9a zur Anwendung. Die Verluste und der Wärmeleitwert des HTSL 9a im zweiten Durchführungsteil 21b sind vernachlässigbar klein, so daß der Wärmestrom durch das zweite Durchführungsteil 21b nur noch als Produkt aus dem Wärmeleitwert des Durchführungsteils 21b und der Temperaturdifferenz

$$\Delta T = 77 - u = 73 \text{ K}$$

gegeben ist. Es wird dabei den jeweiligen elektrischen oder thermischen Bedingungen am besten geeignete Leiter verwendet.

Zur Verbindung der jeweiligen Leiter 27, 9a und 13 sind entsprechende Verbindungsmittel 29a und 29b vorgesehen. Das Verbindungsmittel 29a ist dabei bevorzugt innerhalb des Durchführungsteils 21b jedoch auf Temperatur des MSL angeordnet. Beispielhaft ist das zweite Verbindungsmittel 29b zur Verbindung des HTSL 9a und des Innenleiters 13 im Zwischenraum 23 angeordnet.

Zur weiteren Potentialsteuerung kann das Verbindungsmittel 29b eine separate Abschirmelektrode aufweisen. Gegebenenfalls kann diese auch von der "100%-Einlage", bevorzugt bei Mittelspannung, gebildet sein. Bei sehr hohen Anschlußspannungen — z. B. 400 kV — wird auch hier die Anordnung der inneren Verbindung 17 bzw. 29a innerhalb einer Abschirmelektrode in Frage kommen, um die Anschlußstelle elektrisch hochwertig abzuschirmen.

Das Verbindungsmittel 29b kann dabei gegebenenfalls auch gleichzeitig als Abstandsteil zur Erzeugung des Zwischenraums 23 dienen. Zur Verbindung der jeweils unterschiedlichen Leitermaterialien und -arten, können die Verbindungsmittel 29a, 29b und die Verbindung 17 als Löt-, Schweiß-, Klemm- oder Klebeverbindung ausgeführt sein. Auch hier ist entsprechend der elektrischen und thermischen Wärmeleitfähigkeit vom Fachmann die günstigste Verbindungstechnik zu wählen.

Patentansprüche

1. Leiterdurchführung (11, 11a) für das Gehäuse (2) eines supraleitenden Wechselstromgerätes mit hoher Betriebsspannung, insbesondere für Mittel- oder Hochspannung, mit
 - einem Innenleiter (13), der von einem als thermischer und elektrischer Isolierkörper ausgebildeten ersten Durchführungsteil (21) umgeben ist, in welchem koaxial um den Innenleiter elektrisch leitende Einlagen (15) mit geringer Wärmeleitfähigkeit angeordnet sind,
 - endseitigen Verbindungsmitteln (19, 29b) zum Anschluß eines elektrischen Leiters (3) zur elektrischen Energiezu- oder abfuhr beziehungsweise zum Anschluß eines Supraleiters (9, 9a)
 - und Haltemitteln (25) zur Befestigung an der Gehäusewand (1).
2. Leiterdurchführung nach Anspruch 1, wobei das Verbindungsmittel (17, 29a, 29b) zum Anschluß des Supraleiters (9, 9a) innerhalb des Isolierkörpers angeordnet ist.
3. Leiterdurchführung nach Anspruch 1 oder 2, wobei an dem ersten Durchführungsteil (21a) axial ein passendes zweites Durchführungsteil (21b) angeordnet ist, zwischen denen ein von einem Kühlmittel durchströmbarer Zwischenraum (23) liegt.
4. Leiterdurchführung nach Anspruch 1 oder 2, welche etwa quer zu ihrer Längsachse einen von einem Kühlmittel durchströmbarer Zwischenraum (23) aufweist, wodurch ein erstes und ein axial dazu passendes zweites Durchführungsteil (21a bzw. 21b) gebildet sind.
5. Leiterdurchführung nach Anspruch 3, wobei das zweite Durchführungsteil (21b) ebenfalls koaxial angeordnete elektrisch leitende Einlagen (15) auf-

weist.

6. Leiterdurchführung nach Anspruch 3, 4 oder 5, wobei der Leiter (9a) des zweiten Durchführungsteils (21b) ein Supraleiter ist.

7. Leiterdurchführung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei das Verbindungsmittel (29b) zum Anschluß des Supraleiters (9a) zumindest teilweise im Zwischenraum (23) angeordnet ist.

8. Leiterdurchführung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, wobei das zweite Durchführungsteil (21b) ein Verbindungsmittel (29a) zum Anschluß seines Leiters (9a) an den Supraleiter (27) des Wechselstromgerätes aufweist.

9. Leiterdurchführung nach einem der Ansprüche 3 bis 8, wobei als Haltemittel ein im Bereich des Zwischenraumes (23) angeordneter Flansch (25) vorgesehen ist.

10. Leiterdurchführung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Einlagen (15) einen gegenüber Aluminium geringen Wärmeleitwert aufweisen.

11. Leiterdurchführung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Einlagen (15) als Folie aus einer unmagnetischen Stahlegierung, insbesondere Hastelloy, gefertigt sind.

12. Leiterdurchführung nach Anspruch 3 bis 11, wobei das Kühlmittel im Zwischenraum (23) eine höhere Betriebstemperatur als das Kühlmittel des Wechselstromgerätes aufweist.

13. Leiterdurchführung nach Anspruch 3 bis 12, wobei der Zwischenraum (23) kegelmantelförmig ausgestaltet ist.

14. Leiteranordnung nach Anspruch 3 bis 13, wobei zur elektrischen Potentialsteuerung im Zwischenraum (23) die Einlagen (15) der beiden Durchführungsteile (21a, 21b) aufeinander abgestimmt sind.

15. Leiteranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei der Innenleiter (13) zumindest im ersten Durchführungsteil (21, 21a) einen im Verhältnis zum Leiter (3) oder zum Supraleiter (9, 9a) großen Außendurchmesser aufweist.

16. Verwendung einer Leiterdurchführung nach einem der Ansprüche 1 bis 15 bei einem supraleitenden Leistungstransformator, insbesondere für Mittel- oder Hochspannung.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

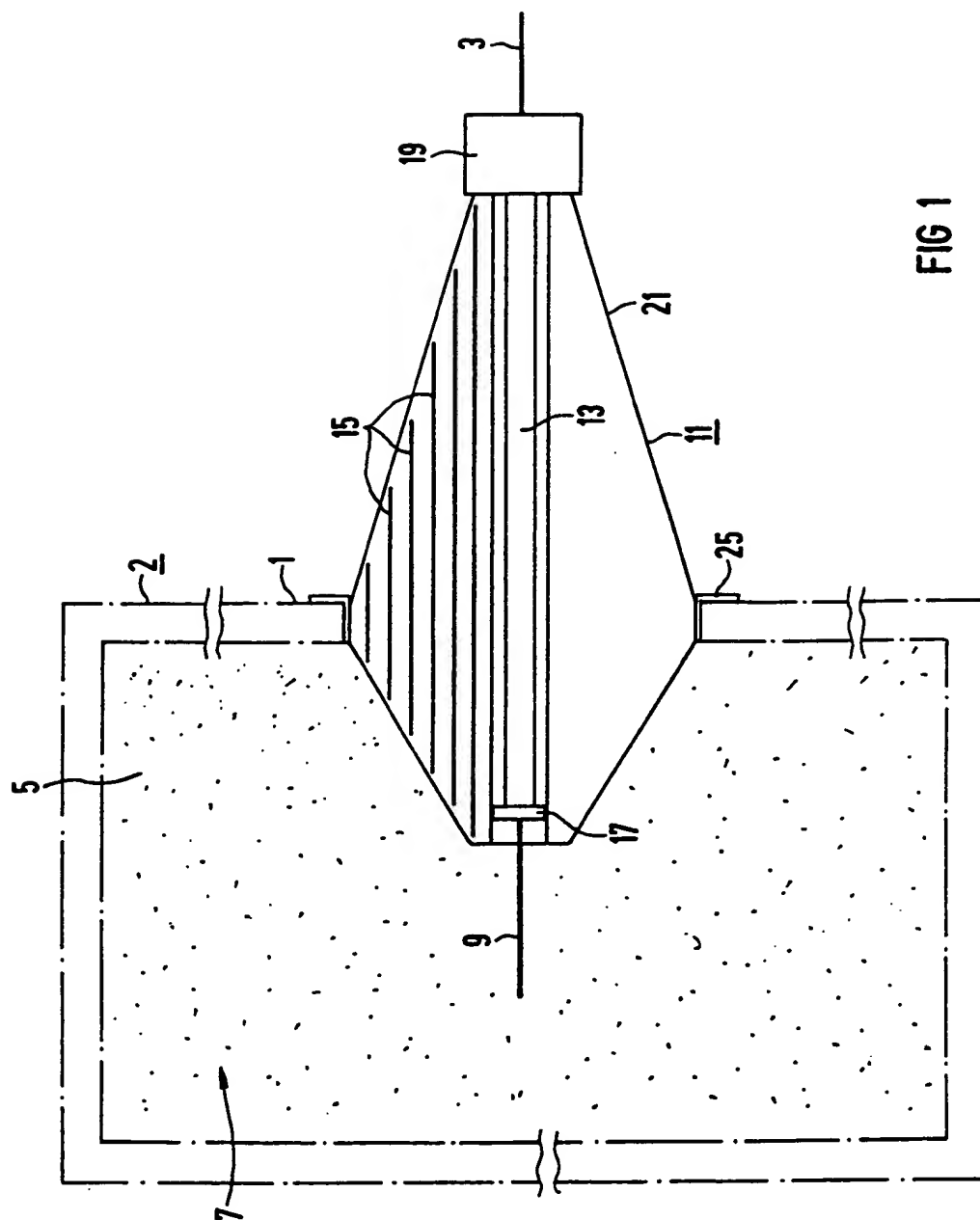


FIG 1

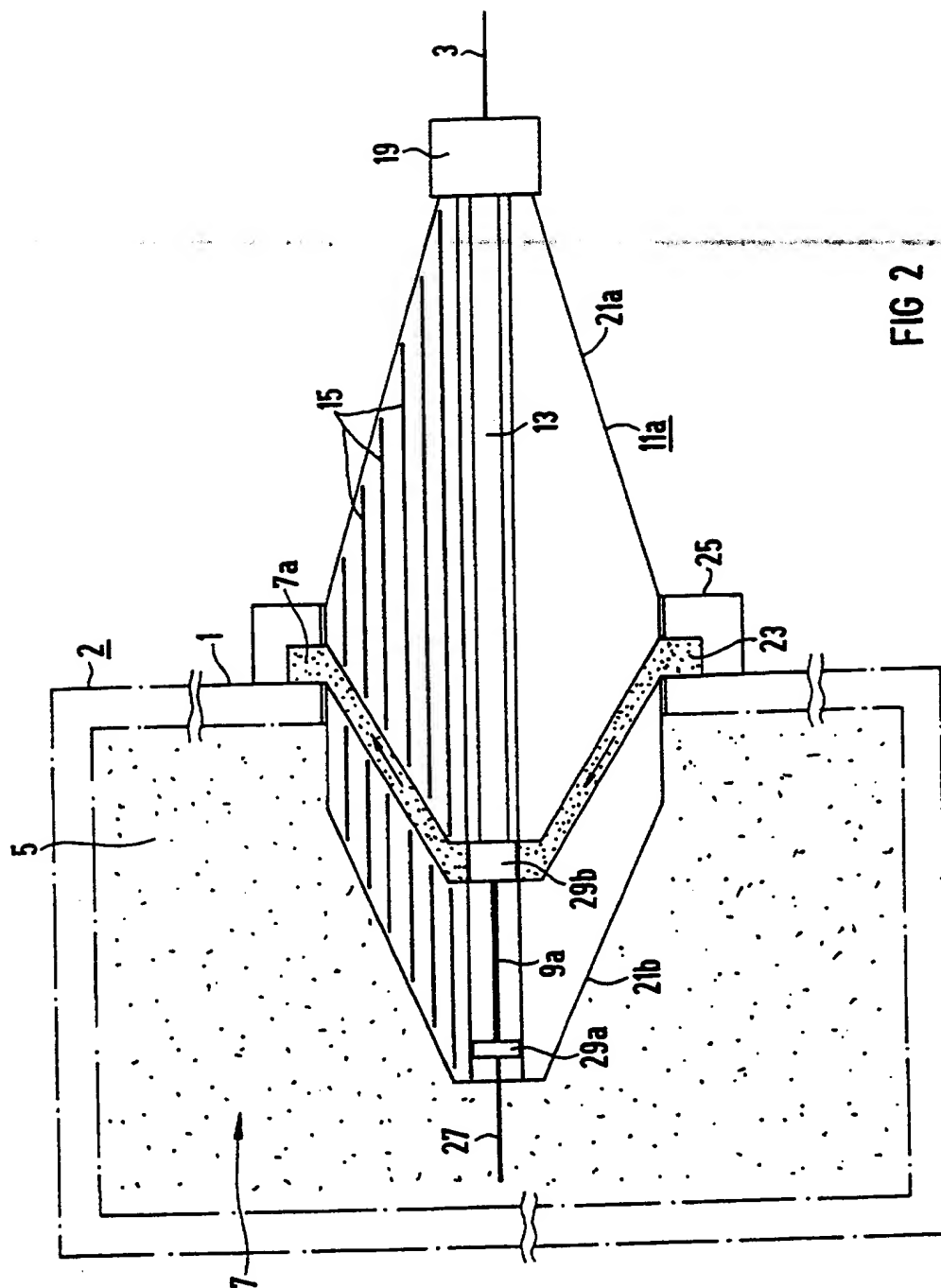


FIG 2